

秦岭沙河湾造山带型环斑花岗岩地球化学及构造属性讨论*

周滨¹ 汪方跃^{2,3} 孙勇¹ 孙卫东^{2**} 丁兴^{2,3} 胡艳华^{2,3} 凌明星^{2,3}

ZHOU Bin¹, WANG FangYue^{2,3}, SUN Yong¹, SUN WeiDong^{2**}, DING Xing^{2,3}, HU YanHua^{2,3} and LING MingXing^{2,3}

1. 西北大学地质学系, 大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 同位素年代学和地球化学重点实验室, 广州 510640

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049

1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

2. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

2006-07-27 收稿, 2008-05-19 改回.

Zhou B, Wang FY, Sun Y, Sun WD, Ding X, Hu YH and Ling MX. 2008. Geochemistry and tectonic affinity of Shahewan orogenic rapakivi from Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6):1261–1272

Abstract The Shahewan granite pluton is located near Shangzhou, in Qinling orogenic belt, central China. It was regarded as rapakivi based on petrographic studies, which is taken as part of a Triassic “rapakivi belt” in the north Qinling mountains. Although the formation of Rapakivi is still not well understood, it is usually formed more than 100Ma after collision, and thus the rapakivi belt in the Qinling orogen was used to argue for that the main collision between the South and North China blocks occurred much earlier than the final collision in Triassic. Therefore, detailed study on the geochemical characteristics of the Shahewan granite is important to understanding its tectonic affinity and, the evolution of Qinling orogenic belt. In this study, we analyzed the major and trace element compositions of samples from Shahewan and nearby syn-collisional granites. Our results show that the Shahewan granite has the same geochemical characteristics as those of the nearby Caoping granites and other syn-collisional granites all along the South Qinling granite belt, but dramatically different from typical rapakivi. It has high Al_2O_3 content, ranging from 14.53% to 16.2%, and is enriched in LREE and LILE, with SiO_2 content of 64.99% ~ 69.69%. Remarkably, there is no obvious $(Eu/Eu^*)_N$ anomaly (0.83 ~ 1.10) in the Shahewan granite, which is distinctively different from typical rapakivi. Therefore, Shahewan granite is more likely to be an orogenic rapakivi, which cannot represent the end of the collision between the North and South China Blocks along the Qinling orogenic belt, nor resulted from an early collision along the Shang-Dan fault. Instead, it was formed in a geological setting similar to Caoping and other South Qinling granite plutons.

Key words Shahewan; Rapakivi; Geochemistry; Syn-collision; Qinling orogenic belt

摘要 对沙河湾岩体的主量元素、微量元素地球化学进行了研究, 结果显示沙河湾岩体与附近同一时期的曹坪岩体, 及南秦岭花岗岩带的米坝、光头山、张家坝等岩体的地球化学特征很相近。SiO₂ 为 64.99% ~ 69.69%, 具有高的 Al₂O₃ (14.53% ~ 16.2%), 富集轻稀土和大离子亲石元素, 尤其是沙河湾岩体没有明显 Eu 的负异常, 表现出与典型的板内奥长环斑花岗岩明显不同的微量元素地球化学特点。因此, 它可能是一种造山带环斑花岗岩, 而不是典型的奥长环斑花岗岩。沙河湾环斑花岗岩的年龄曾被看作秦岭造山带主造山过程结束、后造山陆内演化开始的证据。本文研究结果表明沙河湾岩体与曹坪和其它南秦岭同碰撞型花岗岩形成于相同的地质背景, 所以不能以其环斑结构来限制秦岭造山带主造山过程结束时代, 该岩体也

* 科技部 973 项目(编号:2006CB403505)资助。

第一作者简介:周滨, 男, 1982 年生, 硕士研究生, 岩石大地构造专业, E-mail: chowbun@126.com

** 通讯作者: 孙卫东, 研究员, E-mail: weidongsun@gig.ac.cn

很可能不是沿商丹断裂带的早期碰撞的产物。

关键词 沙河湾; 奥长环斑花岗岩; 地球化学; 同碰撞; 秦岭造山带

中图法分类号 P588.121

1 引言

南秦岭地区花岗岩出露广泛,从西向东主要有三个大岩体群:(1) 光头山岩体群,靠近勉-略蛇绿构造混杂岩带北侧,包括迷坝、新院、姜家坪、张家坝、光头山、留坝和西坝岩体(Sun *et al.*, 2002a; 张成立等, 2005);(2) 五龙岩体群,紧靠商丹断裂带南侧,包括华阳、五龙、老城和胭脂坝岩体;(3) 东江口岩体群,包括高桥街、东江口、柞水、曹坪和沙河湾岩体。它们大都以大的岩基形式产出,侵入到古生代地层中(严阵, 1985; 张本仁等, 1994),构成了一条长约 400km 的花岗岩带。关于它们的成因和构造属性有不同的认识,有人根据地球化学和秦岭造山带构造演化认为它们是华北板块和扬子板块碰撞的产物,属同碰撞型花岗岩(张本仁等, 1994; Sun *et al.*, 2002a);也有人根据其构造变形弱等特点认为它们是后碰撞型花岗岩(张成立等, 2005)。其中,沙河湾岩体具有明显的环斑结构,在岩相上与这条花岗岩带上的其它岩体有着明显区别的,被认为是奥长环斑花岗岩,从而成为争论的一个焦点。前人最初从岩相学认为沙河湾岩体是典型的奥长环斑花岗岩(王晓霞和卢欣祥, 1998; Lu *et al.*, 1996; 卢欣祥等, 1999; Zhang *et al.*, 1999)。后来在秦岭地区又相继发现了秦岭梁、老君山和朱厂沟等具有环斑结构的花岗岩体。卢欣祥等(1999)等根据上述岩体多分布在商丹断裂带以北,又具有环斑结构,将它们划分成为一条环斑花岗岩带。上述岩体时代基本上为印支期末,其中沙河湾的锆石 U-Pb 年龄为 $212.1 \pm 1.8\text{Ma}$, $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法年龄为 $213 \pm 2\text{Ma}$ (Zhang *et al.*, 1999)。由于典型的奥长环斑花岗岩通常形成于造山带结束后 $>100\text{Ma}$ (Haapala and Ramo,

1999),因此他们认为沙河湾环斑花岗岩的形成年龄代表了秦岭造山带碰撞结束、后碰撞构造演化开始的时代(Lu *et al.*, 1996; 卢欣祥等, 1999; Zhang *et al.*, 1999),地壳演化已由碰撞造山带的挤压阶段转化为板内的拉伸阶段。这与目前公认的华北与扬子两大板块三叠纪碰撞的研究结果相矛盾(Li *et al.*, 1993; Zhang *et al.*, 1996; Yuan, 1996; Sun *et al.* 2002b)。

从岩相学上曾有人对这条环斑花岗岩带是否是典型的奥长环斑花岗岩提出了质疑(赵太平, 2001; Zhang *et al.*, 2002)。为此,研究者们经过进一步的研究认为秦岭环斑花岗岩与典型的板内环斑花岗岩是有一定差异(王晓霞和卢欣祥, 1998, 2003; 王晓霞等, 2003, 2005; 卢欣祥等, 2003)。他们初步提出,环斑花岗岩应该有两类:非造山型和造山后型。非造山环斑花岗岩是一种典型稳定大陆内部伸展环境下的产物;造山后环斑花岗岩的特点是造山后伸展期或由挤压向伸展转折期的产物。两者反映的实质是相似的,都是伸展环境或由挤压向伸展转换的环境。

本文采用地球化学手段对沙河湾岩体以及与其处于相同构造带的、相邻的曹坪岩体,并结合南秦岭的新院、姜家坪、张家坝、光头山等岩体进行对比研究,来探讨沙河湾岩体的地球化学特征以及与典型奥长环斑花岗岩的区别,进一步讨论沙河湾岩体的构造属性,从而来确定其在秦岭造山带中的地质意义。

2 地质背景及岩石学特征

秦岭沙河湾岩体位于陕西商州市南 20km 的牛槽、沙河湾一带(图 1),出露于商丹构造带中,即华北板块与中秦岭

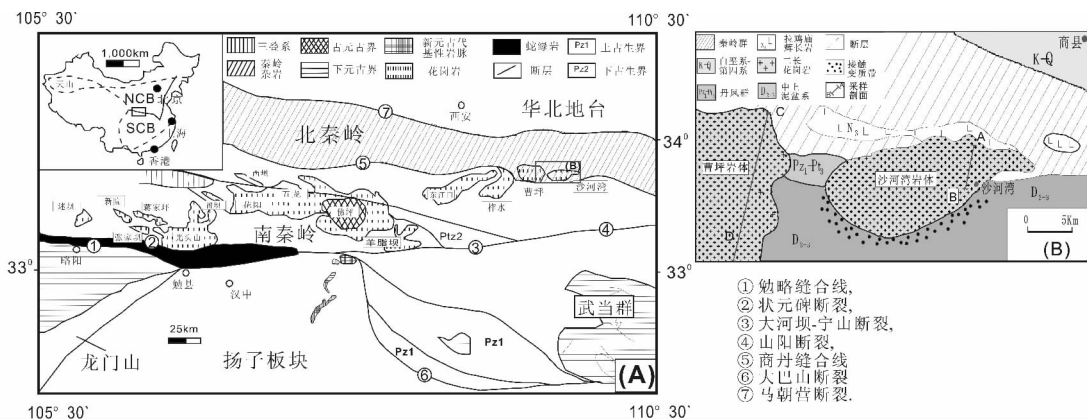


图 1 南秦岭同碰撞花岗岩带地质简图(Zhang *et al.*, 1996) (A) 和沙河湾地质简图(Lu *et al.*, 1996) (B)

Fig. 1 Sketch geological map of syn-collisional granite belt in South Qinling (Zhang *et al.*, 1996) (A) and in Shahewan (Lu *et al.*, 1996) (B)

板块的主缝合带中。岩体为东西向延长的椭圆形,面积 104km^2 ,与围岩呈明显侵入接触关系,北侧围岩为秦岭群混合片麻岩、加里东期垃圾庙岩体及元古宙—古生代的丹凤群变质火山岩,南侧主要为刘岭群砂板岩(Lu *et al.*, 1996)。

沙河湾岩体主要以灰白色的石英二长斑岩为主,斑晶约占岩石体积的20%,多为肉红色(少数灰白色)自形-半自形的钾长石单晶,少见卵形,粒径为 $0.3\text{cm} \sim 4.8\text{cm}$,多数在 $2\text{cm} \sim 3\text{cm}$ 。斑晶在岩体中分布不均匀,其中含有角闪石、黑云母、斜长石等矿物包裹体;具有环边的斑晶占斑晶总量的 $<25\%$,该结构内核为肉红色钾长石,环边为白色斜长石(奥长石, $An = 20 \pm$, 王晓霞和卢欣祥, 2003),奥长石边厚 $0.1\text{mm} \sim 15\text{mm}$;环边厚度和内核直径的比值变化范围大($0.4 \sim 5$, 图2B)。极少部分的环斑结构由钾长石斑晶和细粒暗色矿物(角闪石、黑云母等)构成中间环带,也有部分具有环斑结构的斑晶周围或中间聚集了这些细粒的暗色矿物而构成暗色环圈(图2C)。与芬兰奥长环斑花岗岩的环斑结构(图2A)相比,沙河湾岩体的自形成度较高。基质为中细粒花岗结构,主要由石英(25%)、斜长石(40%)、钾长石(20%)和暗色矿物(约15%)等组成,其中暗色矿物以黑云母为主,其次为角闪石;各类矿物自形程度较高,副矿物主要有磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石、金红石和萤石。岩体中含有较多的灰黑色包体,与围岩界线清楚,呈椭球状或不规则状,大小不一,直径为 $1\text{cm} \sim 1.2\text{m}$ 。

曹坪岩体位于沙河湾岩体西侧 10km ,面积约 184km^2 ,其北侧围岩为秦岭群混合片麻岩,南侧为砂板岩,岩石类型为石英二长岩、二长花岗岩(严阵,1985)。矿物组成为斜长石(40%) + 钾长石(27%) + 石英(30%) + 黑云母(3%)。岩石呈半自形中粒结构,块状构造,有少量似斑晶,

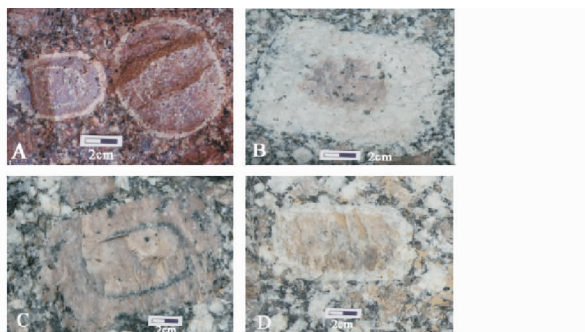


图2 环斑结构野外露头特征

A. 芬兰 rapakivi 的卵圆状环斑结构野外露头特征(Calzia and Ramo, 2005)。

B. 沙河湾岩体环斑结构野外露头特征,可见较自形的斑晶,具有暗色环带。N $33^{\circ} 44' 39.9''$ E $109^{\circ} 43' 59.2''$

C. 沙河湾岩体环斑结构野外露头特征,可见较自形巨厚的斜长石外壳。N $33^{\circ} 45' 23''$ E $109^{\circ} 48' 31.5''$

D. 沙河湾岩体环斑结构野外露头特征,可见较自形的钾长石斑晶,斜长石环带较窄。N $33^{\circ} 44' 17.8''$ E $109^{\circ} 43' 42.9''$

Fig.2 Rapakivi texture at outcrops

偶见环斑结构。副矿物主要由磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石组成,含量变化较大。与沙河湾岩体相同,曹坪岩体中同样含有大量的暗色包体,包体大小不等, $1\text{cm} \sim 1\text{m}$,多呈椭球状,与围岩界线清楚。

3 样品的采集和分析方法

有两条公路分别横穿两个岩体,样品的采集是沿着公路进行的,共采集样品40个。采集的样品大多数新鲜无风化,少部分样品表面有轻微风化。通过手标本和镜下观察,选取25个新鲜的样品进行地球化学分析。为了避免风化作用的影响,所有样品都先切成 1cm 左右厚的薄片,将风化的表面去掉,用砂纸打磨和去离子水冲洗去掉切割留下的铁锈,再烘干,用干净的草纸包好,手工破碎成厘米级的岩块,挑选其中新鲜的,用碳化钨CMT碎样器碎成200目以下的粉末样品。主量和微量分析均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,分析结果见表1。主量分析采用XRF(Rigaku RIX 2100)玻璃熔饼法完成。微量元素采用ICP-MS(Perkin Elmer公司具动态反应池的Elan 6100 DRC)完成,样品溶解采用 $1.5\text{mL HNO}_3 + 1.5\text{mL HF} + 0.02\text{mL HClO}_4$ 混合酸在Teflon高压溶样弹(bomb)中进行。对于国际标准物质BHVO-1(玄武岩)、BCR-2(玄武岩)和AGV-1(安山岩)的分析结果表明,主量元素分析精度和准确度优于5%,微量元素分析的精度和准确度一般优于10%(参见Govindaraju, 1994)。

4 分析结果

沙河湾岩体和曹坪岩体岩石样品的地球化学分析结果(表1)表明:

从表1可以看出,沙河湾岩体的 SiO_2 为 $64.99\% \sim 69.69\%$,平均为 66.19% ; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 $0.812 \sim 1.331$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 $7.43\% \sim 8.53\%$; σ (里特曼指数)为 $2.085 \sim 3.217$,富 Al_2O_3 ($14.53\% \sim 16.2\%$), A/CNK (铝指数)在 $0.878 \sim 0.953$ 之间,属于准铝质系列(图3);在 SiO_2 - K_2O 图中(图4d)样品全部落于高钾钙碱性区域;在 K_2O - Na_2O 图中,样品全部落于I型花岗岩类区域,属于I型花岗岩(图5)。沙河湾岩体富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Sr、Ba等和轻稀土(LREE),亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta等、重稀土(HREE)和Y(图6)。岩石的稀土含量中等, ΣREE 为 $128.86 \times 10^{-6} \sim 179.63 \times 10^{-6}$ (平均为 130×10^{-6}),轻重稀土中度分异, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 $15.3 \sim 19.2$,稀土配分模式图上表现为相对平滑的右倾曲线,轻稀土富集,La为 $30.1 \times 10^{-6} \sim 42.3 \times 10^{-6}$,Yb为 $1.05 \times 10^{-6} \sim 1.59 \times 10^{-6}$ 。值得注意的是,沙河湾岩体几乎没有铕(Eu)负异常,与典型的奥长环斑花岗岩有明显的差异(图7)。

表1 沙河湾岩体和曹坪岩体的主量 (wt%)、微量元素 ($\times 10^{-6}$) 分析结果Table 1 The analytical results of major (wt%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) from the Shahewan and Caoping Plutons

样品号	SHW-01	SHW-02	SHW-03	SHW-04	SHW-05	SHW-06	SHW-07	SHW-08	SHW-09
岩性	石英二长岩	花岗岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩
SiO ₂	67.16	69.69	66.2	66.25	67.13	66.19	66.53	66.03	65.32
TiO ₂	0.52	0.43	0.48	0.53	0.46	0.55	0.45	0.56	0.5
Al ₂ O ₃	15.73	14.68	15.4	15.09	15.26	14.65	15.34	14.78	15.79
Fe ₂ O ₃ ^T	2.97	2.68	3.44	3.4	3.15	3.8	3.17	3.86	3.56
MnO	0.04	0.03	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
MgO	1.61	1.48	2.3	2.24	2.11	2.62	2.13	2.67	2.32
CaO	2.99	2.7	2.97	2.83	2.79	3.24	2.81	3.27	3.25
Na ₂ O	4.63	4.26	4.48	3.9	4.32	3.99	3.84	4.2	4.48
K ₂ O	3.59	3.2	3.65	4.19	4.04	3.78	4.73	3.66	3.52
P ₂ O ₅	0.22	0.2	0.24	0.24	0.21	0.26	0.22	0.26	0.22
烧失量	0.82	0.84	0.95	1.15	0.92	1.03	0.78	0.89	1.15
总量	100.28	100.19	100.17	99.88	100.44	100.17	100.05	100.23	100.16
La	37.6	30.5	32.4	36.1	31.5	35.3	30.8	36	28.6
Ce	72.5	52.3	55	64.6	55.7	63.2	55.1	66.8	50.8
Pr	8.06	5.46	5.94	7.06	6.03	6.84	5.93	7.44	5.54
Nd	31.1	20.2	23	27.3	23.3	26.5	22.9	29.1	21.7
Sm	5.19	3.32	3.95	4.69	3.98	4.56	3.93	4.99	3.75
Eu	1.35	0.93	1.12	1.32	1.17	1.16	1.26	1.33	1.17
Gd	4.11	2.63	3.08	3.72	3.09	3.6	3.1	3.96	2.99
Tb	0.6	0.38	0.45	0.55	0.45	0.53	0.45	0.58	0.44
Dy	3.21	2.02	2.35	2.87	2.33	2.71	2.42	3.04	2.34
Ho	0.56	0.31	0.38	0.48	0.37	0.45	0.38	0.52	0.37
Er	1.54	0.99	1.12	1.36	1.1	1.32	1.13	1.46	1.1
Tm	0.22	0.15	0.16	0.19	0.15	0.19	0.16	0.21	0.15
Yb	1.56	1.05	1.16	1.35	1.12	1.32	1.13	1.49	1.08
Lu	0.23	0.17	0.18	0.2	0.17	0.2	0.17	0.23	0.16
Cs	2.24	2.3	3.52	3.48	3.16	3.37	3.25	3.64	2.27
Rb	90.4	84.4	110.8	117.7	116.1	111.9	123.7	109.8	93.6
Ba	1000	703.9	1087	1342	1293	983	2155	1117	1251
Th	11.75	8.66	12.2	15.61	14.1	15.06	12.48	17.3	10.57
U	2.48	2.05	2.42	2.58	2.36	3.93	2.64	2.78	1.81
Ta	1.84	1.32	1.19	1.48	1.28	1.45	1.27	1.53	1.1
Nb	16	11	11.7	14.3	12.4	14.1	12.6	14.3	10.8
Sr	728	638	773	735	727	660	746	730	851
Hf	5.42	4.76	5.64	5.38	4.42	5.77	4.44	6.71	4.4
Zr	185	164	198	196	160	205	163	229	160
Y	16.7	11.1	12.5	14.7	12.5	14.7	12.9	15.4	12.3
Sc	6.1	5.1	7.1	7.2	6.6	8.2	6.9	18.6	9
V	47	41	57	60	55	67	56	65	58
Ni	18	18	37	37	36	43	35	42	37
Cr	29.75	32.91	62.5	62.6	69.4	69	59.3	69.6	62.3
Co	123	156	122	129	130	137	132	113	137
Ga	19	17	18.5	18.1	17.8	18.4	17.5	18.2	18.5
Ge	1.32	1.16	1.33	1.39	1.35	1.38	1.3	1.34	1.32
A/CNK	0.93	0.95	0.92	0.94	0.92	0.88	0.93	0.88	0.92
A/NK	1.37	1.40	1.36	1.38	1.33	1.37	1.34	1.36	1.41
σ	0.34	0.28	0.35	0.35	0.35	0.34	0.36	0.34	0.36
Eu/Eu*	0.89	0.96	0.98	0.97	1.02	0.87	1.10	0.91	1.07
(La/Yb) _N	15.92	19.18	18.44	17.66	18.57	17.66	18.00	15.95	17.49
Rb/Ba	0.09	0.12	0.10	0.09	0.09	0.119	0.06	0.10	0.07

续表 1

Continued Table 1

样品号	SHW-10	SHW-11	SHW-12	SHW1-01	SHW1-02	SHW1-03	SHW1-04	SHW1-05
岩性	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩	石英二长岩
SiO ₂	65.53	66.24	64.99	65.59	65.32	66	66.13	65.3
TiO ₂	0.48	0.55	0.63	0.62	0.53	0.5	0.51	0.45
Al ₂ O ₃	15.8	15.08	14.82	14.53	14.71	15.18	15.33	16.2
Fe ₂ O ₃ ^T	3.31	3.59	4	3.75	3.34	3.41	3.43	3.18
MnO	0.05	0.06	0.07	0.05	0.04	0.06	0.06	0.05
MgO	2.13	2.42	2.66	2.35	2.26	2.42	2.53	2.18
CaO	2.92	2.62	3.36	3	2.89	3.03	3.08	2.85
Na ₂ O	4.32	4.07	3.93	3.61	4.1	4.07	4.28	4.96
K ₂ O	3.92	4.23	3.88	3.82	3.57	3.89	3.41	3.51
P ₂ O ₅	0.23	0.27	0.3	0.26	0.23	0.25	0.25	0.22
烧失量	1.19	1.05	0.87	2.57	3.17	1.23	1.24	1.44
总量	99.88	100.18	99.51	100.15	100.16	100.04	100.25	100.34
La	28.9	37.7	42.3	38.1	37.6	32	32.6	30.1
Ce	51.1	68.7	76.5	71.5	69.6	62.7	63.2	52.7
Pr	5.52	7.64	8.4	7.84	7.53	6.93	6.83	5.64
Nd	21.5	29.6	32.7	29.7	28	26.1	25.9	21.2
Sm	3.7	5.06	5.62	4.98	4.86	4.65	4.62	3.81
Eu	1.22	1.39	1.51	1.33	1.24	1.33	1.26	1.19
Gd	2.98	3.96	4.4	3.86	4.18	4.15	4.09	3.46
Tb	0.44	0.58	0.64	0.56	0.54	0.54	0.53	0.44
Dy	2.34	3.05	3.36	2.92	2.78	2.74	2.7	2.27
Ho	0.37	0.53	0.59	0.5	0.55	0.55	0.54	0.45
Er	1.1	1.42	1.56	1.39	1.48	1.43	1.43	1.19
Tm	0.16	0.21	0.23	0.21	0.21	0.2	0.19	0.16
Yb	1.14	1.44	1.59	1.47	1.39	1.38	1.32	1.12
Lu	0.17	0.21	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.17
Cs	2.18	2.03	2.82	6.32	7.75	2.24	2.21	2.36
Rb	105.4	112.3	110.6	116.1	109.6	100	91.4	104.1
Ba	1544	1450	1383	944	981	1340	1060	1189
Th	10.81	11.76	12.4	14.23	15.5	14.28	15.5	10.02
U	1.99	2.24	2.41	3.57	3.12	2.88	3.22	2.95
Ta	1.04	1.53	1.63	1.68	1.71	1.44	1.48	1.1
Nb	10.9	15.5	17.3	17.3	14.8	13.2	13.4	10.4
Sr	874	778	800	546	508	777	770	913
Hf	5.45	5.55	6.22	6.05	5.95	5.8	6.02	4.89
Zr	203	210	233	220	186	188	201	166
Y	12.7	16.5	18.1	15.8	14	14.4	20.9	12.1
Sc	7.6	8	8.8	8	23.7	12.1	11.2	9.3
V	58	64	73	70	66	65	64	58.4
Ni	36	39	44	43	41	42	42	37
Cr	58.4	70.8	74.6	79.4	58.4	56.4	57	50.4
Co	2.18	2.03	2.82	6.32	7.75	2.24	2.21	2.36
Ga	105.4	112.3	110.6	116.1	109.6	100	91.4	104.1
Ge	1544	1450	1383	944	981	1340	1060	1189
A/CNK	0.95	0.94	0.88	0.93	0.93	0.92	0.94	0.94
A/NK	1.39	1.34	1.39	1.44	1.39	1.39	1.43	1.35
σ	2.87	3.01	2.96	2.77	2.44	2.64	2.76	2.56
Eu/Eu*	1.12	0.95	0.93	0.93	0.84	0.93	0.89	1.00
(La/Yb) _N	17.49	16.74	17.29	17.57	17.11	17.86	15.31	16.31
Rb/Ba	0.07	0.08	0.08	0.12	0.11	0.08	0.09	0.09

续表 1

Continued Table 1

样品号	SHW1-06	HYS-01	HYS-03	HYS-06	HYS-08	HYS-10	HYS-12	HYS-15
岩性	石英二长岩	花岗闪长岩	石英二长岩	花岗岩	花岗岩	花岗岩	花岗岩	石英二长岩
SiO ₂	65.96	68.93	68.49	72.26	70.68	72.16	71.61	68.61
TiO ₂	0.5	0.43	0.52	0.22	0.23	0.24	0.26	0.44
Al ₂ O ₃	15.15	14.46	14.38	14.62	15.11	14.32	14.56	14.39
Fe ₂ O ₃ ^T	3.33	2.9	3	1.35	1.58	1.62	1.62	3.01
MnO	0.05	0.05	0.06	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05
MgO	2.26	1.76	2.24	0.44	0.62	0.79	0.84	1.68
CaO	2.83	2.74	2.47	1.28	1.74	1.47	1.53	2.49
Na ₂ O	3.87	3.79	3.67	4.09	4.32	4.14	4.14	3.9
K ₂ O	4.5	3.99	4.56	4.76	3.94	4.42	4.76	4.13
P ₂ O ₅	0.25	0.15	0.25	0.07	0.09	0.09	0.11	0.16
烧失量	1.03	0.55	0.63	0.64	1.38	0.5	0.56	1.03
总量	99.73	99.75	100.27	99.75	99.72	99.78	100.03	99.89
La	32.3	25.8	37.9	40	21.4	29.7	28.7	30.1
Ce	62.6	45.7	70.5	75.3	41.1	54.4	49.8	53.4
Pr	6.88	4.78	7.56	7.83	4.41	5.64	5.02	5.57
Nd	26.1	17.6	27.9	27.8	16.6	20	17.9	20.7
Sm	4.7	3.25	4.98	5.07	3.16	3.6	3.23	3.78
Eu	1.37	0.9	1.14	0.88	0.77	0.73	0.72	0.94
Gd	4.1	2.98	4.21	4.22	2.76	3.18	2.8	3.37
Tb	0.52	0.4	0.52	0.51	0.37	0.39	0.37	0.46
Dy	2.68	2.11	2.63	2.41	1.88	1.99	1.94	2.42
Ho	0.53	0.42	0.5	0.41	0.35	0.38	0.38	0.5
Er	1.38	1.14	1.31	1.05	0.93	1.02	1.02	1.36
Tm	0.19	0.16	0.18	0.14	0.12	0.14	0.14	0.19
Yb	1.31	1.16	1.23	0.88	0.85	1.03	1.03	1.38
Lu	0.21	0.19	0.19	0.13	0.13	0.17	0.16	0.22
Cs	2.9	10.53	13.18	9.59	7.24	8.96	10.4	4.59
Rb	114.9	122.2	178.4	179.7	121.4	176.5	179.4	123.6
Ba	1796	976	1132	802.6	1034	741	840	918
Th	12.96	15.97	15.02	23.7	11.26	22.16	20.52	22.11
U	2.6	2.99	3.48	5.06	2.06	4.86	5.59	4.76
Ta	1.33	1.45	1.48	1.72	1.3	1.94	1.71	1.59
Nb	13.3	11.2	13.7	11.8	8.7	13.6	13.5	13.1
Sr	780	522	623	225	320	299	357	461
Hf	6.14	3.29	5.77	4.6	3.8	4.8	4.5	4.43
Zr	218	109.5	209	156	129	147	145	157
Y	14.5	12.3	14.6	12.2	10.6	11	11.7	14.7
Sc	9.7	6.6	10.5	2.44	3.14	2.63	11.9	8
V	63	47.6	57.7	14.7	23.1	20.8	25.2	51.5
Ni	38	25.8	53	1.66	6.2	9.8	17.9	25
Cr	55.1	37.4	71.3	4.27	6.94	15.03	25.77	40.7
Co	122	139	122	154	153	178	168	132
Ga	19.3	17.5	20	22.3	19.2	19.8	21.1	17.6
Ge	1.24	1.3	1.41	1.34	1.23	1.39	1.4	1.34
A/CNK	0.92	0.93	0.93	1.03	1.04	1.00	0.99	0.93
A/NK	1.35	1.37	1.31	1.23	1.33	1.23	1.22	1.32
σ	3.05	2.33	2.66	2.68	2.47	2.51	2.77	2.52
Eu/Eu*	0.95	0.88	0.76	0.58	0.80	0.66	0.73	0.80
(La/Yb) _N	16.3	14.7	20.4	30.0	16.6	19.0	18.4	14.4
Rb/Ba	0.06	0.13	0.16	0.22	0.12	0.24	0.21	0.14

A/CNK = Al/(Ca + Na + K) (为原子数); A/NK = Al/(Na + K); σ 为里特曼指数; N 代表球粒陨石标准化; SHW 为沙河湾岩体样品; HYS 代表曹坪岩体的样品

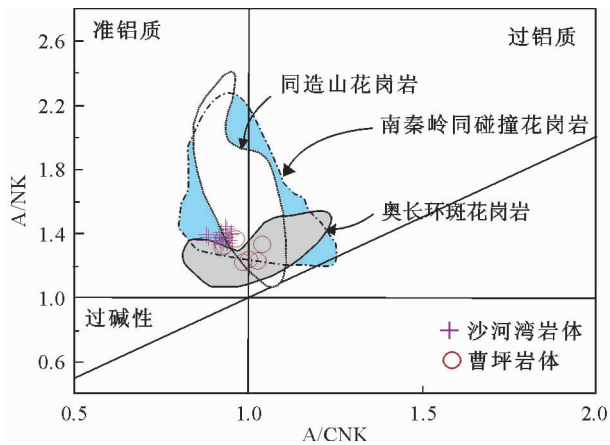


图3 沙河湾、曹坪岩体 A/CNK-A/NK 图(据 Maniar and Piccoli, 1989)

图中 rapakivi 范围引自 Nironen *et al.* (2000); 南秦岭花岗岩范围引自李森等(2004), 晏云翔和张成立(2005)和张成立等(2005); 以下图例相同

Fig. 3 Diagram of A/CNK-A/NK for Shahewan and Caoping Plutons

The field of rapakivi is based on data from Nironen *et al.* (2000); The field of South Qinling granite is based on data from Li *et al.*, (2004), Yan and Zhang (2005), and Zhang *et al.*, (2005)

曹坪岩体的 SiO_2 含量变化范围为 68.49% ~ 72.26%, 平均为 70.22%, 略高于沙河湾岩体; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.81 ~ 1.1; 富含碱质, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 7.78% ~ 8.9%; σ 为 2.33 ~ 2.77; 富铝 (Al_2O_3 为 14.32% ~ 15.11%); A/CNK 为 0.93 ~ 1.04, 属于准铝质-铝质系列(图3); 在 SiO_2 - K_2O 图中曹坪岩体同样落在高钾钙碱系列区域内; 在不相容元素蛛网图上, 曹坪岩体略低于沙河湾岩体; 稀土含量相对较低, ΣREE 为 94.8×10^{-6} ~ 166.6×10^{-6} , 平均为 124.8×10^{-6} ; 轻重稀土分异中等, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 14.4 ~ 30; 与沙河湾岩体的曲线模式基本相同, 只是含量相对较低(图6,7)。

5 讨论

5.1 与典型奥长环斑花岗岩地球化学特征的区别

与芬兰的典型的奥长环斑花岗岩相比, 沙河湾岩体具有高 Mg、Al、Na、Sr, 低 K、Zr、Rb(图4); 而且在 Hark 图解中所投点的位置基本上与同造山和南秦岭同碰撞花岗岩区域相一致, 虽然在图 4B、D、F、I、J 中有部分点投入了 rapakivi 区域中, 但是只出现在 rapakivi 分布区的边部, 总的趋势却是和同碰撞花岗岩相一致。在微量元素蛛网图中(图6), 沙河湾岩体与南秦岭同碰撞花岗岩表现的相一致, 具有相同程度的 Nb、Ta 和 Y、Yb 亏损。在 REE(图7)图解中沙河湾岩体不具有 Eu 异常, 与典型的奥长环斑花岗岩强烈的 Eu 负异常明显不同。此外芬兰的奥长环斑花岗岩的稀土元素含量也较

沙河湾岩体高, 尤其是 HREE。

据前所述可以看出沙河湾环斑花岗岩在地球化学特征上与典型的奥长环斑花岗岩具有明显的区别, 而与其毗邻的曹坪岩体具有相似的地球化学性质, 接近于南秦岭的同碰撞花岗岩, 可能与南秦岭的同碰撞花岗岩有着相同的地质背景。因此, 沙河湾岩体虽然具有环斑结构, 但它与典型的前寒武纪奥长环斑花岗岩有明显的差异, 不能用来指示板内构造环境。

5.2 沙河湾环斑花岗岩的构造属性

奥长环斑花岗岩以其独特的卵状环斑结构、特定的形成年代和非造山构造环境受到广大地质学家的关注(肖庆辉等, 2004)。以往认为, 环斑花岗岩主要出现在前寒武纪稳定的克拉通及其边缘上, 并且沿区域性的大断裂展布(Haapala and Rämö, 1999)。它们和其他一些非造山花岗岩构成了前寒武纪克拉通地区不可缺少的组成部分。全球环斑花岗岩形成于新太古代与早一中元古时期, 是地球早期演化历史中的一种重要岩浆事件。这个时期也正是全球地幔演化的重大转折期, 环斑花岗岩连同层状杂岩以及裂谷的发育构成了这一时期的三大标志性事件。所以奥长环斑花岗岩的出现就成为一个造山旋回终结以后克拉通化的标志(肖庆辉等, 2004)。因此, 奥长环斑花岗岩的厘定对确定该类岩石形成时期的地球动力学环境具有重要意义。近年来, 部分学者把生成于不同环境的具有环斑结构的花岗岩均定义为环斑花岗岩, 这样的环斑花岗岩显然就没有构造指示意义。为了避免不必要的混乱, 本文主张遵守奥长环斑花岗岩(Rapakivi)原来的定义。

沙河湾和曹坪岩体同位于商丹断裂带以南, 属于东江口岩体群, 形成时代均为 213Ma(卢欣祥等, 1999; Zhang *et al.*, 1999)。卢欣祥等(1999)和 Lu *et al.*(1996)就依据奥长环斑花岗岩带的发现认为秦岭地区晚三叠世属于板内拉张环境, 是造山作用后不久地壳拉张岩浆活动的产物。秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的出现, 标志秦岭造山带构造环境的转变, 表明秦岭造山带主造山过程结束, 陆内造山作用开始。也有学者认为奥长环斑花岗岩的形成年龄(约 213Ma)近似代表秦岭造山带主造山期结束时间(Zhang *et al.*, 1999)。但是这种造山带型的环斑花岗岩是否能真的代表造山过程的结束, 能不能成为指示地质构造背景转变的直接证据, 还需要进一步讨论。最新研究认为, 沙河湾的环斑结构可能是花岗岩岩浆与基性岩浆混合造成的(Wang *et al.*, 2007a), 如果是这样, 环斑结构显然不能给出任何构造指示。产于商丹断裂带的煌斑岩被认为是北秦岭在 220Ma 左右处于拉张环境的证据(Wang *et al.*, 2007b), 但是上述煌斑岩的钾含量低, 并非典型的煌斑岩, 是否具有构造环境指示意义还不清楚。

从目前的年代学研究来看, 勉-略带以北的南秦岭同碰撞型花岗岩大部分岩体都获得了精确的定年(Sun *et al.*, 2002a; 胡健民等, 2004)。锆石 U-Pb 年龄测定结果表明各花

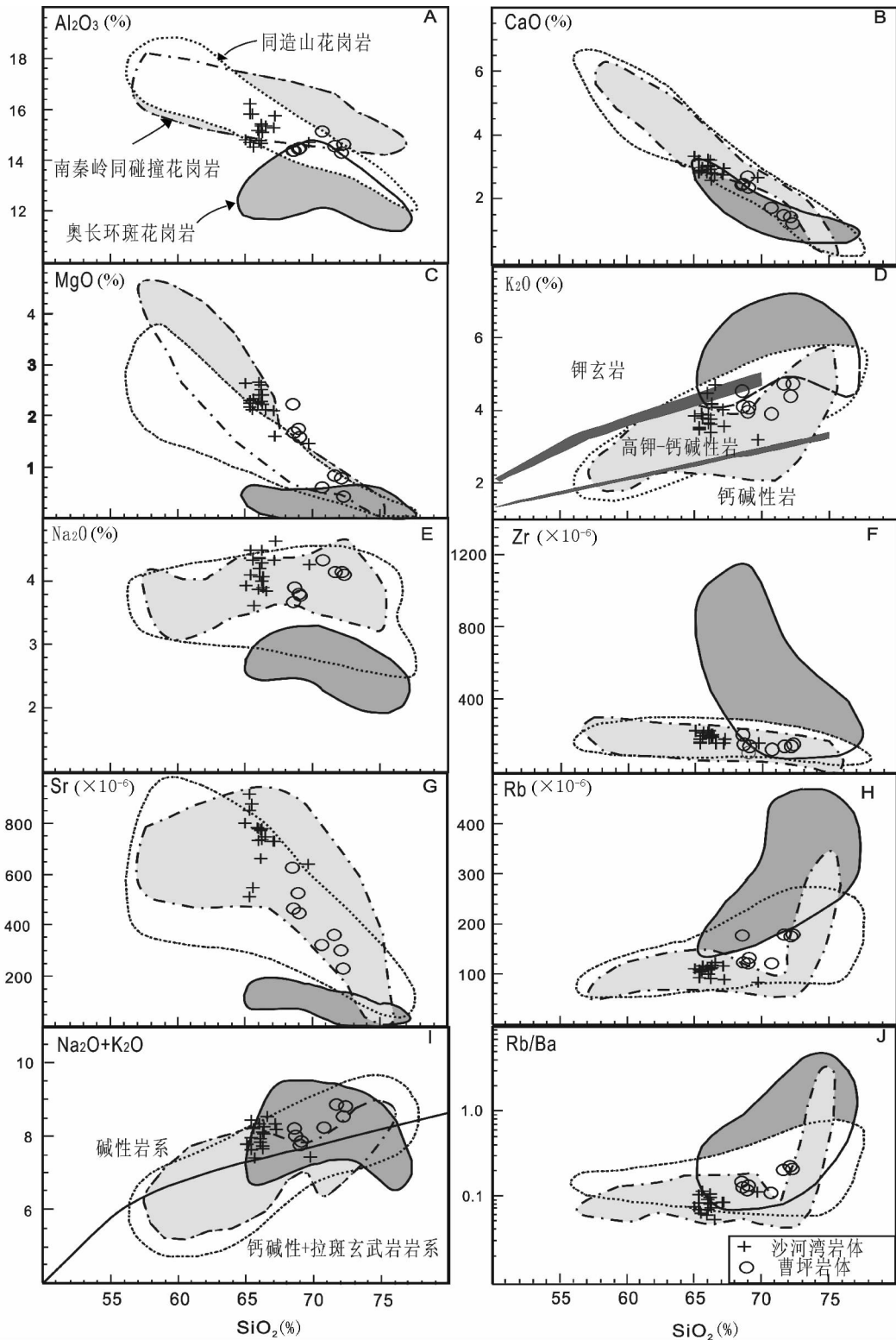


图4 沙河湾、曹坪岩体化学成分变异图(范围出处同图3)

Fig. 4 The chemical compositional variations of Shahewan and Caoping plutons. Data sources of rapakivi and South Qinling granite are the same as Fig. 3

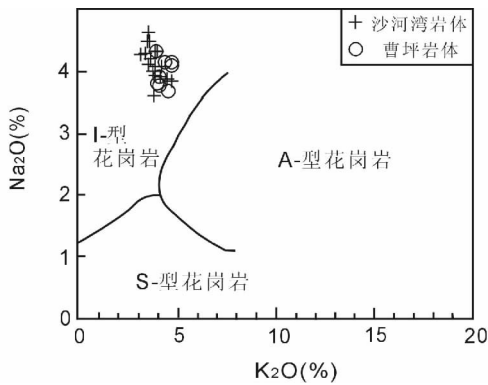


图5 沙河湾、曹坪岩体 K_2O-Na_2O 图解(据 Collins, 1982)

Fig. 5 K_2O-Na_2O diagram for Shahewan and Caoping Plutons

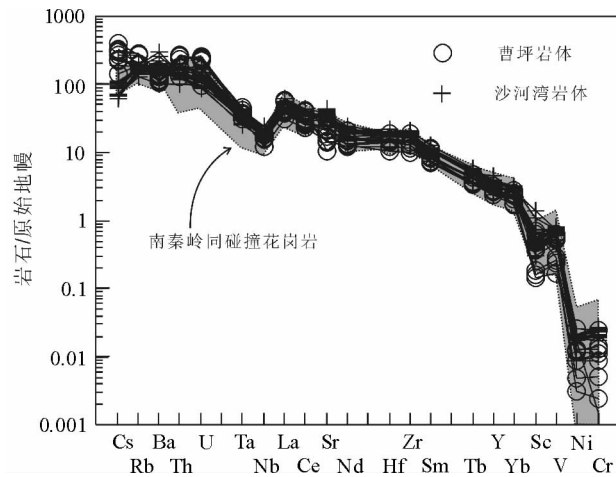


图6 沙河湾、曹坪岩体微量元素原始地幔标准化图解(原始地幔值引自 Sun and McDonough, 1989) Rapakivi(奥长环斑花岗岩)和南秦岭花岗岩和(范围出处同图3)

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace element patterns of rocks from Shahewan and Caoping plutons (primitive mantle data from Sun and McDonough, 1989). Data sources of rapakivi and South Qinling granite are the same as Fig. 3

花岗岩体的结晶时代分别是:姜家坪 ($206 \pm 2\text{Ma}$); 张家坝 ($219 \pm 2\text{Ma}$); 新院 ($214 \pm 1\text{Ma}$); 东江口 ($211 \pm 2\text{Ma}$); 光头山 ($216 \pm 2\text{Ma}$); 迷坝 ($220 \pm 1\text{Ma}$)、($211 \pm 2\text{Ma}$); 柞水 ($213.6 \pm 1.8\text{Ma}$)。沙河湾岩体 $212.1 \pm 1.8\text{Ma}$ 的锆石 U-Pb 年龄 (Zhang *et al.*, 1999) 与上述岩体的年龄相一致, 并且它们与南秦岭勉-略构造带洋盆的闭合时代 ($221 \sim 242\text{Ma}$) 也都在误差范围内一致 (Li *et al.*, 1996), 显示了沙河湾岩体的形成与光头山等花岗岩体群同样可能与勉-略古生代洋盆闭合之间的内在联系 (Sun *et al.*, 2002 a)。

目前的研究 (Li *et al.*, 1996; 张国伟等, 2001, 2004; Lai *et al.*, 2004) 认为勉-略洋盆在三叠纪初期 ($221 \sim 242\text{Ma}$) 已

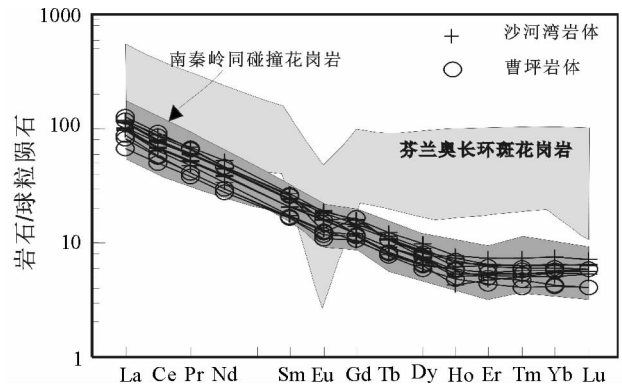


图7 沙河湾、曹坪岩体稀土元素配分型式图解(球粒陨石标准化数值引自 Sun and McDonough, 1989) (范围出处同图3)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of rocks from Shahewan and Caoping plutons (Sun and McDonough, 1989), Data sources of rapakivi and South Qinling granite are the same as Fig. 3

完全闭合, 质量巨大的华南陆块 (包括扬子陆块和华夏古陆) 与秦岭微陆块及华北陆块碰撞, 在其巨大的动量惯性下, 引发了陆壳俯冲及南秦岭的强烈变形及造山运动 (Li *et al.*, 1996)。在南秦岭地区主要表现为勉-略带内蛇绿岩及陆缘沉积岩系的变形变质作用和沿勉-略带发育的俯冲碰撞型岩浆作用 (Sun *et al.*, 2002a; 张国伟等, 2004)。沿勉-略带发育的花岗岩带, 即所谓的南秦岭同碰撞花岗岩带同位素年代集中于 $220 \sim 205\text{Ma}$ (锆石 U-Pb), 比大别超高压变质时代略微年轻, 因而被认为是作为秦岭地区印支期碰撞的重要证据之一 (Sun *et al.*, 2002a)。

目前对于南秦岭花岗岩的成因有两种观点: 一种认为这些花岗岩, 包括沙河湾环斑花岗岩形成机制主要是拆沉作用 (Lu *et al.*, 1996; 李森等, 2004; 晏云翔和张成立, 2005; 张成立等, 2005)。该观点认为该区这一时期的幔源岩浆的形成很可能是在扬子板块向北俯冲碰撞过程中, 致使早期消减带形成的下地壳镁铁质岩石由于地壳增厚而发生超高压变质形成榴辉岩, 由于其比重较大, 这部分物质与地壳物质发生分离而进入软流圈地幔, 发生拆沉作用 (Rudnick, 1995; 晏云翔和张成立, 2005)。由于高密度物质的拆沉, 在地壳均衡作用下岩石圈地幔快速隆升, 地幔物质上涌减压熔融形成基性岩浆上侵至地壳底部, 同时伴随着地壳由挤压状态转为伸展并在底侵基性岩浆热扰动作用下, 下部地壳物质发生减压熔融。此后, 下部基性岩浆在浮力驱动下进入酸性岩浆房, 并由于二者之间存在高的温差和粘度差发生机械混合后上侵而形成的后碰撞型花岗岩 (张成立等, 2005)。有人认为该区中生代造山作用和拆沉作用的结束时间可能早于大别-苏鲁地区 (Gao *et al.*, 1999)。支持后碰撞模型的主要证据是南秦岭花岗岩没有太多的变形。

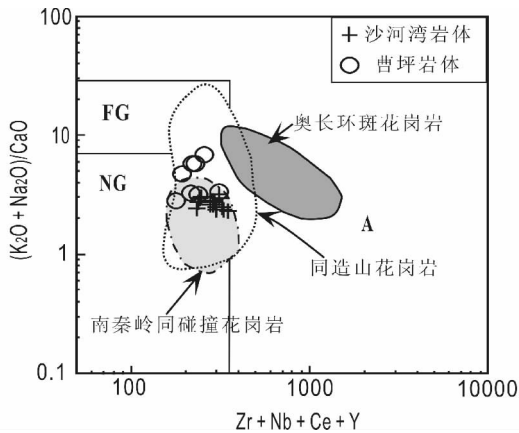


图8 沙河湾、曹坪岩体 $Zr + Nb + Ce + Y / (K_2O + Na_2O) / CaO$ 图解(据 Whalen *et al.*, 1987)范围出处同图3) FG-岩浆分离花岗岩; NG-正常的(非岩浆分离的)花岗岩; M, S, I代表 M-, S-, I型花岗岩

Fig. 8 $Zr + Nb + Ce + Y$ vs $(K_2O + Na_2O) / CaO$ diagram for Shahewan and Caoping plutons. (after Whalen *et al.*, 1987) Data sources of rapakivi and South Qinling granite are the same as Fig. 3

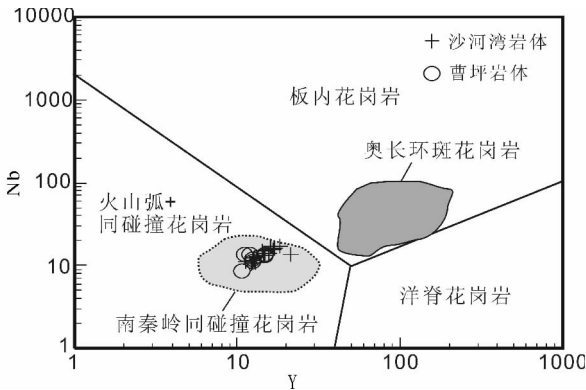


图9 沙河湾、曹坪岩体微构造环境判别图(据 Pearce *et al.*, 1984)

syn-COLG-同碰撞花岗岩; post-COLG-后碰撞花岗岩; VAG-火山岛弧型花岗岩; WPG-板内花岗岩; ORG-洋脊花岗岩; Rapakivi 数值范围引自 Calzia *et al.* (2005)

Fig. 9 The tectonic setting diagram for Shahewan and Caoping plutons (after Pearce *et al.*, 1984). Data sources of rapakivi and South Qinling granite are the same as Fig. 3

另一种观点认为它们的形成主要是由俯冲消减洋壳的断离 (slab break-off) 软流圈物质上侵所致,且该断离作用发生的深度不大 (Sun *et al.*, 2002a; Li, *et al.*, 2002)。在印支期碰撞造山过程中,华南发生顺时针旋转,大别山超高压地体的抬升与南秦岭洋闭合是同时的,考虑到秦岭-大别造山带东部的大别超高压变质岩的峰期变质年龄为 226 ± 2 Ma

(Liu *et al.*, 2006),这应该接近其抬升起始时间。而南秦岭俯冲型和同碰撞型花岗岩应该略晚于大别超高压地体的抬升起始时间,这与实际情况是相符的。在 $(K_2O + Na_2O) / CaO - Zr + Nb + Ce + Y$ 判别图上(图8),沙河湾岩体有个别样样品落在靠近A型花岗岩的区域,而在 $K_2O - Na_2O$ 判别图上完全落在I型花岗岩区(图5),所以沙河湾岩体属于I型花岗岩。在Nb-Y判别图上(图9),沙河湾岩体和其它同一时期南秦岭花岗岩都落在火山弧+同碰撞区,与奥长环斑花岗岩所在的区域完全分开。综上所述,沙河湾岩体和南秦岭同碰撞花岗岩具有相似的地球化学特征和U-Pb 锆石年龄,显示它们之间有着相同的地质背景,所以我们将沙河湾岩体划分到南秦岭同碰撞花岗岩带中。

从南秦岭花岗岩的时代分布看,从俯冲到碰撞的时间可能很短,从而产生了没有变形的南秦岭同碰撞型花岗岩。关于沙河湾岩体环斑结构的形成,我们认为可能是流体-熔体对钾长石斑晶进行交代作用的结果,不能指示碰撞造山作用的结束、陆内造山作用的开始。

5.3 秦岭奥长环斑花岗岩带

在秦岭造山带中,具有环斑结构的岩体还有秦岭梁、老君山、朱厂沟和柞水等岩体,有学者已对其中部分岩体作了详细的工作(王晓霞等, 2003)。赵太平(2001)认为秦岭中所谓的“奥长环斑花岗岩”在岩相学、矿物学、岩石地球化学特征等方面均与国外的及我国北京密云的奥长环斑花岗岩大相径庭;在秦岭迄今也未见报道有时空上与所谓的奥长环斑花岗岩紧密共生的镁铁质岩石如斜长岩、苏长岩、辉长岩、辉绿岩脉或玄武岩等;也没有奥长环斑花岗岩组合中常见的闪长岩、苏长岩等(赵太平, 2001)。Zhang *et al.* (2002)通过对秦岭梁岩体的矿物学的研究以及与典型的奥长环斑花岗岩的对比,认为秦岭梁岩体不是奥长环斑花岗岩,而是印支期造山过程中形成的壳源石英二长斑岩。进而他们对该环斑花岗岩带所反映的构造背景提出了质疑,认为典型的环斑花岗岩主要发育在非造山带稳定的克拉通地区,以芬兰地区的最为著名,奥长环斑花岗岩主要形成于元古宙,形成年龄主要集中在 $1.76 \sim 1.55$ Ga,大部分环斑花岗岩的地球化学特征与A型花岗岩相似,因此被普遍认为是非造山带背景和板内拉张构造环境或造山后环境,一般晚于造山事件 > 100 Ma (Haapala and Ramo, 1999)。结合区域地质、地球化学证据,他们认为秦岭梁岩体形成于秦岭造山带碰撞的初期,而不是碰撞后。上述奥长环斑花岗岩的构造属性值得深入研究。

此外,秦岭造山带经历了多次碰撞 (Sun *et al.*, 2002c; Zhang *et al.*, 1996),第一次是弧-陆碰撞造山,发生在400 Ma左右,以二郎坪弧后盆地的关闭及北秦岭岛弧与华北板块的碰撞造山为代表;第二次碰撞是北秦岭与南秦岭板块沿着商丹缝合带一线的碰撞造山;第三次碰撞是南秦岭板块与扬子板块沿着勉-略带的碰撞造山。上述三次碰撞造山对沙

河湾岩体乃至秦岭其他的环斑花岗岩的产生和侵位有何影响,仍需进一步研究。从空间分布来看,北秦岭奥长环斑花岗岩带沿商丹缝合带,似乎暗示它们是古生代商丹缝合带碰撞后的产物。但是,典型的奥长环斑花岗岩通常产生于拉伸环境。在三叠纪秦岭应该处于挤压构造背景,而不是拉伸环境(Li *et al.*, 1996; Sun *et al.*, 2002a; 张国伟等, 2004)。沙河湾等奥长环斑花岗岩在造山带中具有什么意义,能否代表碰撞造山结束、陆内造山作用的开始也需进一步研究。

6 结论

(1) 沙河湾岩体的地球化学特征与南秦岭同碰撞花岗岩相似,不是典型的奥长环斑花岗岩,其环斑结构并不能用来指示华南与华北两大陆块碰撞早已结束、后碰撞构造演化开始的时代。

(2) 在岩体形成的构造环境判别上,沙河湾岩体与南秦岭的同碰撞花岗岩也相似,均形成于同碰撞的造山作用环境,而不同于典型的奥长环斑花岗岩的陆内拉伸环境。其形成可能是由于勉-略洋的北向俯冲及后续的俯冲板片断离作用,引起软流圈物质的上涌和底侵的结果。

致谢 研究和成文过程中得到了张成立、赖少聪、王洪亮、刘玉龙、林慈銮等多方面的帮助,在此表示诚挚的感谢。

References

Calzia JP and Rämö OT. 2005. Miocene rapakivi granites in the southern Death Valley region, California, USA. *Earth-Science Reviews*, 73 (1-4): 221 - 243

Collins WJ. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80: 189 - 200

Govindaraju K. 1994. Compilation of working values and sample description for 383 geostandard. *Geostandards Newsletter*, 18 (2): 331 - 331

Gao S, Zhang BR, Jin ZM and Kern H. 1999. Lower crustal delamination in the Qinling-Dabie orogenic belt. *Science in China (Series D)*, 42(4): 423 - 433

Haapala I and Rämö OT. 1999. Rapakivi granites and related rocks: An introduction. *Precambrian Research*, 95(1-2): 1 - 7

Hu JM, Cui JT, Meng QR and Zhao CY. 2004. The U-Pb age of zircons separated from the Zhashui granite in Qinling Orogen and its significance. *Geological Review*, 50(3): 323 - 329 (in Chinese with English abstract)

Lai SC, Zhang GW, Pei XZ and Yang HF. 2004. Geochemistry of the ophiolite and oceanic island basalt in the Kangxian-Pipasi-Nanping tectonic melange zone, South Qinling and their tectonic significance. *Science in China (Series D)*, 47(2): 128 - 137

Li M, Zhang CL, Yuan KZ and Yan YX. 2004. Geochemical characteristics of Miba intrusion in the South Qinling Belt and its geological significance. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 34(3): 325 - 330 (in Chinese with English abstract)

Li SG, Huang F and Li H. 2002. Post-collisional lithosphere delamination of the Dabie-Sulu orogen. *Chinese Science Bulletin*, 47 (3): 259 - 263

Li SG, Sun WD, Zhang GW, Chen JY and Yang YC. 1996. Chronology and geochemistry of metavolcanic rocks from Heigouxia valley in the Mian-Lue tectonic zone, south Qinling: Evidence for a Paleozoic oceanic basin and its close time. *Science in China (Series D)*, 39 (3): 300 - 310

Li SG, Xiao YL, Liou DL, Chen YZ, Ge NJ, Zhang ZQ, Sun SS, Cong BL, Zhang RY, Hart SR and Wang SS. 1993. Collision of the north China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes. *Chemical Geology*, 109(1-4): 89 - 111

Liu DY, Jian P, Kroner A and Xu ST. 2006. Dating of prograde metamorphic events deciphered from episodic zircon growth in rocks of the Dabie-Sulu UHP complex, China. *Earth Planetary Science Letter*, 250: 650 - 666

Lu XX, Wang XX, Xiao QH, Yu XD and Dong Y. 2003. A reply to "A query on the so-called rapakivi granite in the Qinling Orogen". *Geological Review*, 49(2): 146 - 154 (in Chinese with English abstract)

Lu XX, Wei XD, Xiao QH, Zhang ZQ, Li HM and Wang W. 1999. Geochronological studies of rapakivi granites in Qinling and its geological implications. *Geological Journal of China Universities*, 5 (4): 372 - 377 (in Chinese with English abstract)

Lu XX, Dong Y, Chang QL, Xiao QH, Li XO, Wang XO and Zhang GW. 1996. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance. *Science in China (Series D)*, 39(3): 266 - 272

Maniar PD and Piccoli PM. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol Soc Am Bull*, 101: 635 - 643

Nironen M, Elliott BA, and Ramo OT, 2000. 1.88 ~ 1.87Ga post-kinematic intrusions of the Central Finland Granitoid Complex: a shift from C-type to A-type magmatism during lithospheric convergence. *Lithos*, 53: 37 - 58

Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpret granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956 - 983

Rudnick RL. 1995. Making continental crust. *Nature*. 378: 571 - 578

Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in the Oceanic Basin*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42: 313 - 345

Sun WD, Li SG, Chen YD and Li YJ. 2002a. Timing of synorogenic granitoids in the South Qinling, central China: Constraints on the evolution of the Qinling-Dabie orogenic belt. *Journal of Geology*, 110: 457 - 468

Sun WD, Williams IS and Li SG. 2002b. Carboniferous and Triassic eclogites in the western Dabie Mountains, east-central China: Evidence for protracted convergence of the North and South China Blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 20: 873 - 886

Sun WD, Li SG, Sun Y, Zhang GW and Li QL. 2002c. Mid-paleozoic collision in the north Qinling: Sm-Nd, Rb-Sr and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages and their tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21 (1): 69 - 76

Wang XX, Wang T, Haapala I and Mao JW. 2007a. *P-T* conditions of crystallization and origin of plagioclase-mantled alkali feldspar megacrysts in the Mesozoic granitoids in the Qinling orogen (China). *Lithos*, doi.org/10.1016/j.lithos.2007.09.020

Wang XX, Wang T, Jahn B-m and Hu NG. 2007b. Tectonic significance of Late Triassic post-collisional lamprophyre dykes from the Qinling Mountains (China). *Geological Magazines*, 144 (5): 837 - 848

Wang XX, Wang T, Haapala I and Lu XX. 2005. Genesis of mafic enclaves from rapakivi-textured granites in the Qinling and its petrological significance: Evidence of elements and Nd, Sr isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3): 935 - 946 (in Chinese with English abstract)

Wang XX and Lu XX. 1998. A Study of biotite from the Shahewan rapakivi granite in Qinling and its significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(4): 352 - 358 (in Chinese with English abstract)

Wang XX and Lu XX. 2003. Mineralogical characteristic of Shahewan rapakivi textured granite in north Qinling and their petrological

- significance. *Acta Mineralogica Sinica*, 23(1): 57–62 (in Chinese with English abstract)
- Wang XX, Wang T, Lu XX and Xiao QH. 2003. Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granitoids in North Qinling and their tectonic setting: A possible orogenic-type rapakivi granitoids. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 650–660 (in Chinese with English abstract)
- Whalen JB, Currie KL and Chappell BW. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 407–419
- Xiao QH, Deng JF, Ma DS, Hong DW, Mo XX, Li ZC, Lu XX, Ma CQ and Wang T, 2004. *The Thoughts and Methods of Granites Research*. Beijing: Geology Press, 280–281 (in Chinese)
- Yan YX and Zhang CL. 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Zhangjiaba and Xinyuan plutons in south Qinling. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 425–433 (in Chinese with English abstract)
- Yan Z. 1985. Granite of Shanxi Province. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 91–116 (in Chinese)
- Yuan XC. 1996. Velocity structure of the Qinling lithosphere and mushroom cloud model. *Science in China (Series D)*, 39(3): 235–244
- Zhang BR, Luo T, Gao S, Ouyang JP, Chen D, Ma Z, Han Y and Gu X. 1994. Geochemical study of the lithosphere, tectonics and metallogenesis in the Qinling-Dabieshan region. Wuhan: Chinese University of Geoscience Press, 110–122 (in Chinese)
- Zhang CL, Zhang GW, Yan YX and Wang Y. 2005. Origin and dynamic significance of Guangtoushan granitic plutons to the north of Manlue zone in southern Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 711–720 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Meng QG, Yu ZP, Sun Y, Zhou DW and Guo AL. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. *Science in China (Series D)*, 39(3): 225–234
- Zhang GW, Zhang BR, Yuan XC and Chen JY. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 1–855 (in Chinese)
- Zhang GW, Cheng SY, Guo AL, Dong YP, Lai SC and Yao AP. 2004. Mianlue paleo-suture on the southern margin of Central Orogenic System in Qinling-Dabie—with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China. *Geological Bulletin of China*, 23(9–10): 846–853 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J, Chen YJ, Shu GM, Zhang FX and Li CO. 2002. Compositional study of minerals within the Qinlingliang granite, Southwestern Shaanxi Province and discussions on the related problems. *Science in China (Series D)*, 45(7): 662–672
- Zhang ZQ, Zhang GW, Tang SH and Lu XX. 1999. Age of the Shahewan rapakivi granite in the Qinling orogen, China, and its constraints on the end time of the main orogenic stage of this orogen. *Chinese Science Bulletin*, 44(21): 2001–2004
- Zhao TP. 2001. A query about so-called rapakivi granites in the Qinling orogen. *Geological Review*, 47(5): 487–491 (in Chinese with English abstract)
- ### 附中文参考文献
- 胡健民, 崔建堂, 孟庆任等. 2004. 秦岭柞水岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地质论评*, 50(3): 323–329
- 李森, 张成立, 苑克增等. 2004. 南秦岭迷坝岩体的地球化学特征及其地质意义. *西北大学学报(自然科学版)*, 34(3): 325–330
- 卢欣祥, 王晓霞, 肖庆辉等. 2003. 答“对秦岭奥长环斑花岗岩质疑”. *地质论评*, 49: 146–154
- 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉等. 1999. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义. *高校地质学报*, 5(4): 372–377
- 王晓霞, 王涛, Happala I 等. 2005. 秦岭环斑结构花岗岩中暗色包体的岩浆混成成因及岩石学意义—元素和 Nd, Sr 同位素地球化学证据. *岩石学报*, 21(3): 935–946
- 王晓霞, 卢欣祥. 1998. 秦岭沙河湾环斑花岗岩中黑云母的研究及其意义. *岩石矿物学杂志*, 17(4): 352–358
- 王晓霞, 卢欣祥. 2003. 北秦岭沙河湾环斑结构花岗岩的矿物学特征及其岩石学意义. *矿物学报*, 23(1): 57–62
- 王晓霞, 王涛, 卢欣祥, 肖庆辉. 2003. 北秦岭老君山和秦岭梁环斑结构花岗岩及构造环境——一种可能的造山带型环斑花岗岩. *岩石学报*, 19(4): 650–660
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨等. 2004. *花岗岩研究的思维与方法*. 北京: 地质出版社, 280–281
- 晏云翔, 张成立. 2005. 南秦岭张家坝岩体和新院岩体地球化学特征及其形成环境. *高校地质学报*, 11(3): 425–433.
- 严阵. 1985. 陕西花岗岩. 西安: 西安交通大学出版社, 91–116
- 张本仁, 骆庭川, 高山等. 1994. 秦巴岩石圈、构造及成矿规律地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 110–122
- 张成立, 张国伟, 晏云翔等. 2005. 南秦岭勉-略带北光头山花岗岩体群的成因及其构造意义. *岩石学报*, 21(3): 711–720
- 张国伟, 程顺有, 郭安林等. 2004. 秦岭-大别中央造山系南缘勉-略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合. *地质通报*, 23(9–10): 846–853
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1–855
- 赵太平. 2001. 对秦岭奥长环斑花岗岩的质疑. *地质论评*, 47(5): 487–491